



УДК 622.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРАТОРОВ ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ ПРИ ЦЕМЕНТИРОВАНИИ НАКЛОННЫХ СКВАЖИН

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF CENTRALIZERS OF AN UPSETTING COLUMN AT CEMENTATION OF INCLINED WELLS

Нагимов Ильяс Рустямович

студент,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
nag-ilyas2008@yandex.ru

Фатихов Ришат Илшатович

аспирант,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет

Агзамов Фарит Акрамович

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин»,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет

Аннотация. Проблема качественного цементирования обсадных колонн была актуальной с момента первых операций по креплению скважин, но в последние годы данному вопросу стало уделяться больше внимания. Данные цементометрии показывают плохое качество цементного камня и низкий контакт цементного камня с породой.

Одним из ключевых моментов, влияющих на качество цементирования скважин, является степень замещения промывочной жидкости тампонажным раствором за обсадной колонной. Эффективность вытеснения зависит от свойств вытесняемой и вытесняющей жидкостей, профиля скважины, состояния обсадной колонны при цементировании, эксцентриситета колонны в скважине и др.

В данной работе приведены результаты экспериментального изучения влияния центрирования обсадной колонны на вытеснение жидкостей в кольцевом пространстве.

Ключевые слова: цементирование, тампонажный раствор, обсадная колонна, центратор, эксцентриситет, промывочная жидкость, замещение, вытеснение.

Nagimov Ilyas Rustyamovich

Student,
Ufa State Petroleum Technological University
nag-ilyas2008@yandex.ru

Fatikhov Rishat Ilshatovich

Graduate student,
Ufa State Petroleum Technological University

Agzamov Farit Akramovich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of «Drilling oil and gas wells»
department,
Ufa State Petroleum Technological University

Annotation. The problem of high-quality cementation of upsetting columns was relevant from the moment of the first operations on fastening of wells, but in recent years more attention began to be paid to the matter. These tsementometriya show bad quality of a cement stone and low contact of a cement stone with breed.

One of the key moments influencing quality of cementation of wells is degree replacement of flushing liquid with grouting solution behind an upsetting column. The efficiency of replacement depends on properties of the forced-out and forcing out liquids, a profile of the well, a condition of an upsetting column at cementation, column eccentricity in the well, etc.

In this work results of experimental studying of influence of centering of an upsetting column on replacement of liquids are given in ring space.

Keywords: cementation, grouting solution, upsetting column, centralizer, eccentricity, flushing liquid, replacement, replacement.

Ц ементирование обсадной колонны, спущенной в скважину, заключается в заполнении кольцевого пространства между обсадными трубами и стенками ствола скважины тампонажным цементным раствором. После схватывания раствора в кольцевом пространстве образуется цементный камень, препятствует перетокам флюидов из одного пласта в другой, способствует укреплению неустойчивых пластов, увеличивает несущую способность обсадной колонны и предохраняет ее от агрессивного воздействия [1].

При цементировании скважин, особенно при прямом способе цементирования, в трубном и кольцевом пространстве последовательно друг другу могут двигаться несколько технологических жидкостей, неизбежно смешивающихся друг с другом и снижающих качество цементирования. При этом, уменьшается сцепление цементного камня с горной породой, снижается прочность цементного камня, изменяются сроки схватывания. Многие исследователи считают, неполное вытеснение бурового раствора и удаление фильтрационной корки важнейшей причиной низкой герметичности зацементированного затрубного пространства.



Поскольку применение механических средств для удаления бурового раствора из кольцевого пространства недостаточно эффективно, то в ранее проведенных работах, основные усилия были направлены на совершенствования механизма гидравлического вытеснения последовательного течения технологических жидкостей. При этом проводилось регламентирование характеристик вытесняющей и вытесняемой жидкости, обеспечение рационального режима течения, применение жидкостных разделителей, центрирование колонны и даже изменение размеров кольцевого пространства [2].

Проблема вытеснения бурового раствора в процессе цементирования детально рассмотрены в работах Шищенко Р.И., Булатова А.И., Уханова Р.Ф. и др. [3, 4, 5]. Они рассматривали движения жидкостей в вертикальных участках и теоретически доказали, что с увеличением эффекта эксцентриситета ухудшаются процессы вытеснения последовательно текущих жидкостей.

В наклонных скважинах, к сожалению, этот вопрос был мало раскрыт. При этом необходимо отметить работу Деткова В.П. [6], который провел теоретические и экспериментальные исследования и получил весьма важные результаты. Детков В.П. предположил, что «эксцентричное расположение колонны и высокая каверзность ствола скважины приводят к образованию застойных зон, в которых буровой раствор переходит в не текучее состояние, а применяемая технология цементирования не создает условий для наиболее полного замещения глинистого раствора цементным». Также он отметил, что существуют самые противоречивые данные по эффективности вытеснения промывочной жидкости цементным раствором.

В тоже время, в рассмотрении процессов цементирования наклонных и горизонтальных скважин осталось много вопросов, требующих теоретического и экспериментального изучения.

Мы полагаем, что с изменением угла наклона скважины влияние эксцентриситета обсадной колонны на эффективность вытеснения будет существенно меняться.

Исследования проводились на экспериментальной установке, являющейся моделью скважины. Схема установки показана на рисунке 1. Установка имеет длину 4,7 м, диаметр модели скважины 100 мм, диаметр модели обсадной колонны 50 мм. Все трубы были прозрачными. При проектировании установки были соблюдены критерии моделирования: параметры Пекле, Рейнольдса, Хедстрема и Архимеда [7, 8, 9, 13]. Конструкция установки позволяет менять углы наклона скважины от вертикального положения до горизонтального. Модель обсадной колонны снабжена центраторами, позволяющими менять положение колонны в скважине с эксцентриситетом от 0 до 0,67. Обвязка экспериментальной установки позволяет моделировать процесс закачки промывочной и буферной жидкостей, а также цементного раствора с различными скоростями их течения.

При проведении экспериментов использованы реальные технологические жидкости и их модели, полностью соответствующие реальным жидкостям.

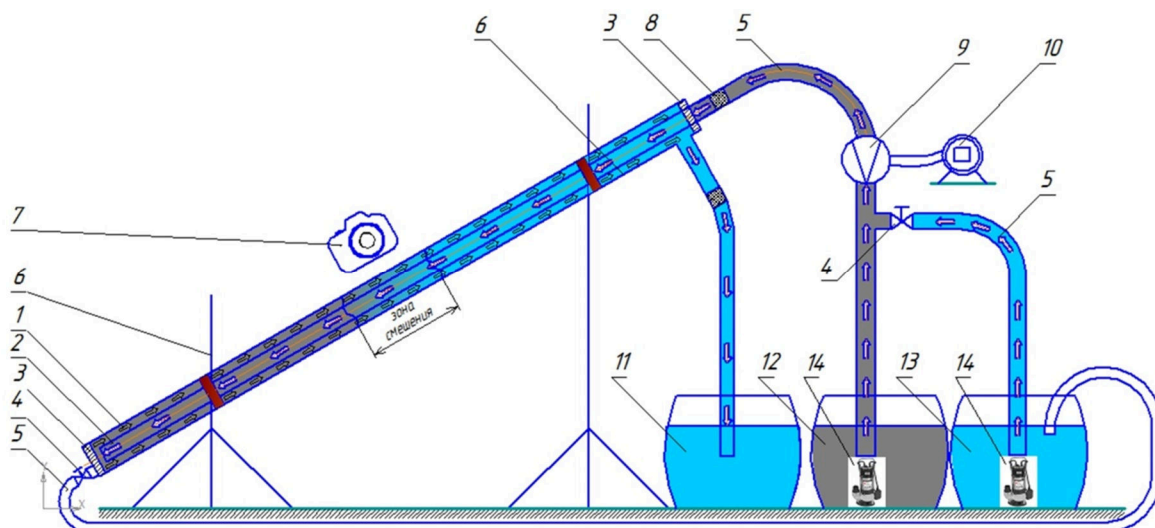


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

- Методика проведения экспериментов:
 1 – модель скважины; 2 – модель обсадной колонны; 3 – заглушки; 4 – задвижки; 5 – гибкие шланги; 6 – штативы;
 7 – фиксирующий фотоаппарат; 8 – соединение труб; 9 – измерительная часть расходомера; 10 – табло расходомера; 11 – ёмкость для образовавшейся смеси; 12 – ёмкость с тампонажным раствором;
 13 – ёмкость с буровым раствором; 14 – насос

Вначале собирается экспериментальная установка, как показано на рисунке 1. Модель скважины устанавливается под углом 30°, а внутри крепится модель обсадной колонны с эксцентричными центраторами. Трубы, выполненные из прозрачных труб, позволяют наблюдать движение жидкостей в кольцевом пространстве. Для достижения эксцентриситета обсадной колонны в скважине, были разработаны специальные центраторы с тремя лопастями с различными эксцентриситетами, расположенных радиально через 120°. Схема расположения центраторов и труб представлена на рисунке 2.

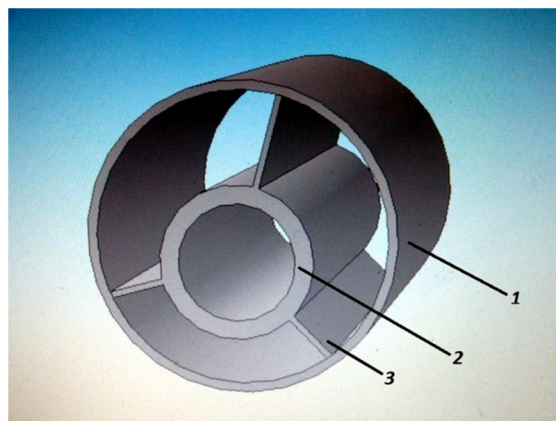


Рисунок 2 – Схема расположения труб и центраторов:
1 – модель скважины; 2 – модель обсадной колонны; 3 – центратор

Затем согласно рисунку собирается обвязка и проверяется герметичности задвижек и работа насоса.

До начала эксперимента приготавливается модель тампонажный раствор или его модельная система.

В данном эксперименте был приготовлен цементный раствор идентичной плотностью как в реальной скважине, но с меньшей пластической вязкостью и меньшим динамическим напряжением сдвига. Это было достигнуто приготовлением раствора с водоцементным отношением 0,5 и добавлением 0,5 % АПС, для снижения ДНС и улучшения прокачиваемости. В качестве промывочной жидкости использован утяжеленный глинистый раствор [10, 11, 12]. Реология раствора в модели и в реальной скважине не стали полностью идентичными, однако критерии подобия соблюдались (табл. 1).

Проведение эксперимента:

- начинается промывка первой порции глинистого раствора, с заданным расходом, при этом наблюдается движение жидкости в кольцевом пространстве;
- затем установка заполняется раствором;
- тампонажный раствор предварительно кондиционируется в осреднительной емкости для получения однородной структуры;
- начинается подача тампонажного раствора с контролируемым расходом. В процессе вытеснения глинистого раствора, фиксируется профиль скоростей на специальном участке, на расстоянии 2,5 м от (от «башмака». На этом участке наблюдается установившееся движение, и вихри образовавшиеся у «башмака» исчезают;
- при достижении смеси устья скважины, фиксируется объём образовавшейся смеси путем ее отбора в ёмкость, или по времени прохождения зоны смеси;
- после проведения эксперимента, тампонажный раствор сливается обратно в ёмкость, откуда вновь подаётся в установку для следующих опытов.

Затем эксперименты повторяются с разными эксцентриситетами обсадной колонны при различных подачах насоса.

Часть результатов проведенных экспериментов приведена в таблицах 2, 3 и рисунках 3, 4.

Таблица 1 – Характеристики реальной скважины и модели

		$D_{скв},$ мм	$D_{ок},$ мм	Сред- ний расход $Q_{ср},$ л/ с	Средняя скорость движения в кольцевом пространстве $U_{ср},$ м/с	Плот- ность, $\rho,$ кг/м ³	Пласти- ческая вязкость $\eta,$ Па · с	ДНС $\tau_0,$ Па	Критерий Рей- нольдса Re	Крите- рий Пекле Pe	Крите- рий Хедстр- ема He	Крите- рий Архиме- да $Ar \cdot 10^6$
Сква- жина	Цементный раствор	160	114	7	0,7	1900	0,249	30	107	0,5	1945	2,3
	Буровой раствор					1050	0,02	1,7	609	0,5	9400	
Мо- дель	Цементный раствор	100	50	1,2	0,2	1900	0,075	2,5	109	0,2	2100	2,1
	Буровой раствор					1100	0,01	0,5	398	0,2	11000	



Таблица 2 – Результаты экспериментов

Q , л/с	Эксцентриситет	Объем образовавшейся смеси V_c , л	Коэффициент вытеснения $K_{\text{выт}}$	Коэффициент смешения $K_{\text{смеш}}$
1,5	0,32	5,9	0,786	0,214
	0,64	6,2	0,775	0,225
1,4	0,32	6,2	0,775	0,225
	0,64	6,5	0,764	0,236
1,3	0,32	6,3	0,772	0,228
	0,64	6,7	0,757	0,243
1,2	0,32	6,5	0,764	0,236
	0,64	6,8	0,753	0,246



Рисунок 3 – Граница контакта жидкостей при эксцентриситете 0,32

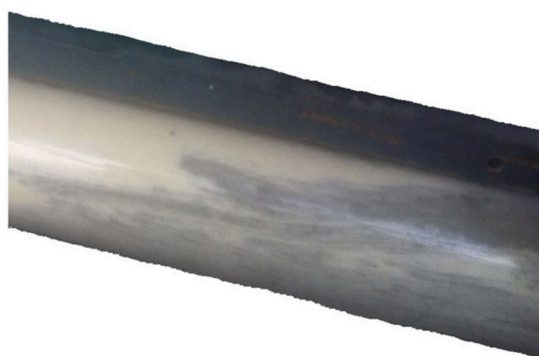


Рисунок 4 – Граница контакта жидкостей при эксцентриситете 0,64

С помощью видеокамеры был записан процесс движения растворов, из видеозаписи были зафиксированы границы контактов с разными эксцентричными центраторами при подаче насоса 1,2 л/с.

В таблице 3 для сравнения приведены результаты экспериментов с концентричным расположением обсадной колонны в скважине.

Таблица 3 – Сравнение результатов экспериментов

Q , л/с	Коэффициент вытеснения $K_{\text{выт}}$		
	При концентричном расположении обсадной колонны	При эксцентриситете 0,32	При эксцентриситете 0,64
1,5	0,821	0,786	0,775
1,4	0,807	0,775	0,764
1,3	0,796	0,772	0,757
1,2	0,793	0,764	0,753

Из таблицы 3 видно, что с увеличением эксцентриситета коэффициент вытеснения уменьшается, а коэффициент смешения увеличивается.



Заключение

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Во время вытеснения глинистого раствора тампонажным раствором наблюдается появление «языкового» течения. При увеличении эксцентриситета длина зоны «языкового» течения увеличивается тем самым уменьшается коэффициент вытеснения, а коэффициент смешения увеличивается.
2. При увеличении подачи насоса визуально отмечено, что длина зоны «языкового» течения уменьшается.
3. Из-за увеличения длины зоны «языкового» течения увеличивается объем образовавшейся смеси, тем самым уменьшается коэффициент вытеснения.
4. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили предположение о роли центрирования обсадной колонны в наклонных участках. Следовательно, для качественного цементирования ствола необходимо достичь минимальной эксцентриситетности обсадной колонны и осуществлять закачку и продавку на более высоких скоростях жидкости, так как при этом повышается вытеснение промывочной жидкости тампонажным раствором.

Литература:

1. Маковой Н. Гидравлика бурения. – М. : Недра, 1986. – 536 с.
2. Ашрафьян М.О. Вытеснение бурового раствора тампонажным и совершенствование технологии цементирования скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – №1. – С. 39–43.
3. Шищенко Р.И., Есьман Б.И., Кондратенко П.И. Гидравлика промывочных жидкостей. – М. : Недра, 1976. – 294 с.
4. Ашрафьян М.О., Булатов А.И. Влияние технологических факторов на качество цементирования скважин. – М. : ОИ, сер. «Бурение», ВНИИОЭНГ, 2000. – 55 с.
5. Караев А.К., Гасанов Г.Т., Гасанзаде Н.А. и др. Влияние эксцентричного расположения обсадных колонн на полноту вытеснения промывочного раствора при креплении скважин // Нефтяное хозяйство. – 1968. – № 12. – С. 22–25.
6. Детков В.П. Цементирование наклонных скважин. – М. : Недра, 1978. – 247 с.
7. Акбулатов Т.О. Гидравлические расчеты в бурении : методические указания. – Уфа : Издательство УНИ, 1991. – 50 с.
8. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Гидроаэромеханика бурения» для студентов специальности 0211 «Бурение нефтяных и газовых скважин». Расчет гидравлической программы проводки скважины. – Уфа : УНИ, 1987.
9. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Технология бурения нефтяных и газовых скважин» для студентов специальности 0909. Гидравлические расчеты в бурении. – Уфа : УНИ, 1991.
10. Конесев Г.В. Буровые промывочные жидкости. – Уфа : УНИ, 1983. – 91 с.
11. Булатов А.И. Технология цементирования нефтяных и газовых скважин. – М. : Недра, 1983. – 255 с.
12. Рябов И.Н., Логинова М.Е., Гаймалетдинова Г.Л. Новшества для строительства скважин. Сборник статей Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы инновационного развития» (Москва, 30.11.2017 г.). – М. : Импульс, 2017. – С. 781–785.
13. Соловьёв Е.М. Заканчивание скважин. – М. : Недра, 1979.

References:

1. Makovey N. Drilling hydraulics. – M. : Nedra, 1986. – 536 p.
2. Ashrafyan M.O. Replacement of drilling mud fluid grouting and improvement of technology of cementation of wells // Construction of oil and gas wells by land and by sea. – 2010. – № 1. – P. 39–43.
3. Shishchenko R.I., Esman B.I., Kondratenko P.I. Gidravlik of flushing liquids. – M. : Subsoil, 1976. – 294 p.
4. Ashrafyan M.O., Bulatov A.I. Influence of technology factors on quality of cementation of wells. – M. : Burenie, VNIIOENG, 2000. – 55 p.
5. Karayev A.K., Gasanov G.T., Gasanzade N.A., etc. Influence of an excentric arrangement of upsetting columns on completeness of replacement of flushing solution when fastening wells // Oil economy. – 1968. – № 12. – P. 22–25.
6. Detkov V.P. Cementation of inclined wells. – M. : Subsoil, 1978. – 247 p.
7. Akbulatov T.O. Hydraulic calculations in drilling: methodical instructions. – Ufa : UNI publishing house, 1991. – 50 p.
8. Methodical instructions to implementation of the term paper on discipline «Drilling Hydroaeromechanics» for students of specialty 0211 «Drilling of oil and gas wells». Calculation of the hydraulic program of conducting of the well. – Ufa : UNI, 1987.
9. Methodical instructions to a practical training on discipline «Technology of drilling of oil and gas wells» for students of specialty 0909. Hydraulic calculations in drilling. – Ufa : UNI, 1991.
10. Konesev G.V. Boring flushing liquids. – Ufa : UNI, 1983. – 91 p.
11. Bulatov A.I. Technology of cementation of oil and gas wells. – M. : Nedra, 1983. – 255 p.
12. Ryabov I.N., Loginova M.E., Gaymaletdinova G.L. Innovations for construction of wells. Collection of articles of the International scientific and practical conference «Current Problems of Innovative Development» (Moscow, 11/30/2017). – M. : Impulse, 2017. – P. 781–785.
13. Solovyov E.M. Completion of wells. – M. : Nedra, 1979.